

# 自由落下式救命艇の着水性能改善について

正員 荒井 誠\*      正員 月岡 洋平\*\*  
 正員 戸澤 秀\*\*\*      山根 和之\*\*\*\*

Improvement of Water Entry Performance of a Free-fall Lifeboat

by Makoto Arai, *Member*    Yohei Tsukioka, *Member*  
 Shigeru Tozawa, *Member*    Kazuyuki Yamane

## Summary

Recently, free-fall lifeboats have been widely adopted as efficient and safety life saving apparatuses for large merchant ships such as bulk carriers and tankers. However, because the increase of the size of mother ships leads to increases in fall heights, dangerous behaviours such as the occurrence of boat motion towards the mother ship after water entry and/or intensive acceleration to the occupants in the boat when it enters the water surface must be anticipated.

In past studies, water entry performance has mainly been examined in terms of the launching conditions of free-fall lifeboats; the effect of hull shape has not generally been investigated. In this study, therefore, model experiments and numerical simulations were carried out, and a free-fall lifeboat system to be used for large merchant ships with 25 meter fall heights was examined. Improvement of the hull shape and optimization of the launching parameters were then conducted based on the issues found from the investigation.

## 1. 結 言

自由落下式救命艇は、災害時における船舶からの迅速かつ安全な脱出装置として、ばら積み貨物船やタンカーをはじめとする大型船舶に対しても広く採用されるようになってきた。しかしながら、母船が大型化するとともに艇の落下高さも増大するため、着水後に母船に戻る方向に救命艇が運動したり、着水時に乗員に作用する加速度が大きくなるなどの危険な挙動の発生が予想される。ところで、自由落下式救命艇の着水時の性能については、従来は滑台上の滑降距離や滑台傾斜角等の進水開

始時の発進に関係した条件について主に議論されてきたが船型についてはあまり検討されていなかった。そこで本研究では、模型実験や数値シミュレーションを実施して、大型母船を想定した落下高さ 25m 級の救命艇システムの実現を目指した検討を行う。また、その場合に存在する問題点を明らかにして、救命艇の船型の改良や進水条件の最適化を行う。

## 2. 自由落下式救命艇着水挙動の数値計算法

自由落下式救命艇の母船からの離脱運動は、着水前の空中運動と着水後の水面付近での運動に分けられる。空中運動は滑台上の滑降から始まり、滑台端部での拘束回転、自由落下を経て水面に着水するまでである。着水後の救命艇は、水面でスラミング（着水衝撃）を起こした

\* 横浜国立大学大学院工学研究院

\*\* 三菱重工業(株) (研究当時横浜国立大学工学部)

\*\*\* 独立行政法人海上技術安全研究所

\*\*\*\*(株)ニシエフ

後、水中航走、水面への再浮上、浮上後の慣性航走の各段階を経て母船から遠方に離脱する。空中運動の計算法については田崎らの研究がある<sup>1)</sup>。また、著者らは更に着水後の救命艇の運動まで考慮した数値計算法を報告している<sup>2-7)</sup>。ここでは本論文の議論の参考とするため、論文[7]から着水以降の計算法の部分を引用して以下に示す。なお、実際の離脱時には着水と同時に艇の推進機が稼動するので、着水後の運動にはその影響もあるが本稿では無視する。

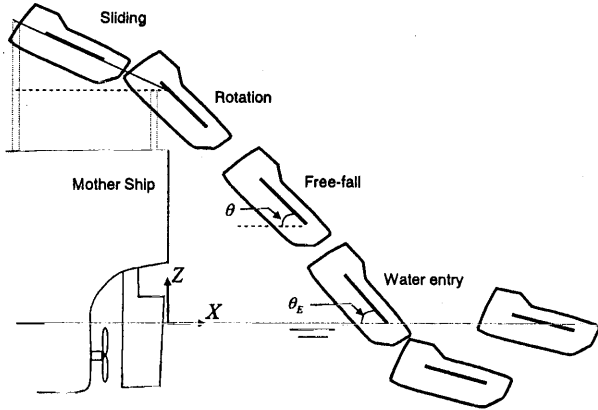


Fig.1 Launching of a free-fall lifeboat.

艇の質量を  $M$ 、慣性モーメントを  $I$ 、空間固定座標系に対する艇の重心の水平および上下方向の位置を  $x$  および  $z$ 、静水面に対する艇の傾斜角（回転角）を  $\theta$  とすると着水後の艇の運動方程式は

$$\begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{mn} \sin \theta - F_{ma} \cos \theta + F_{dn} \sin \theta - F_{da} \cos \theta \\ F_{mn} \cos \theta + F_{ma} \sin \theta + F_{dn} \cos \theta + F_{da} \sin \theta - Mg + F_b \\ -M_{mn} - M_{dn} - M_b \end{bmatrix} \quad (1)$$

と表せる。ここで、 $F_{mn}$  および  $F_{ma}$  は艇の上下方向および前後方向 (Fig.2 の  $\zeta$  および  $\xi$  方向) の流体力学的運動量変化に基づく力の成分を表す。また、 $F_{dn}$  および  $F_{da}$  は、それぞれ艇の上下方向および前後方向の抗力成分である。これらの流体力の成分は運動する艇に固定した局所座標系を用いて評価する。さらに、 $F_b$  は浮力、 $Mg$  は自重を示している。同様に、 $M_{mn}$  は運動量変化によるモーメント、 $M_{dn}$  は抗力によるモーメント、 $M_b$  は浮力によるモーメントである。

(1) 式右辺の外力項の評価は、浮力 ( $F_b, M_b$ ) と艇の上下方向 (normal direction) および回転方向の力の成分 ( $F_{mn}, F_{dn}, M_{mn}, M_{dn}$ ) に関しては、艇を長さ方向に 40 等分し前後端を含み合計 41 横断面での力を評価して、それらを艇の長さ方向に積分することにより求める。

例えば浮力成分は

$$F_b = \rho g \int A_i(\xi) d\xi \quad (2)$$

$$M_b = \rho g \cos \theta \int A_i(\xi) \xi d\xi \quad (3)$$

と表せる。ただし、 $A_i(\xi)$  は没水部分の断面積、 $\xi$  は艇に固定した座標系において艇の長さ方向を表す局所座標である。なお、積分記号は艇の後端から前端までの積分を意味する。

着水初期の挙動にもっとも重要な関係がある  $F_{mn}$  および  $M_{mn}$  は

$$\begin{aligned} F_{mn} = & (-\dot{x} \sin \theta - \dot{z} \cos \theta) \int \frac{dm}{dt} d\xi + \dot{\theta} \int \frac{dm}{dt} \xi d\xi \\ & + v_{ax} \int \frac{dm}{dt} \tan \alpha d\xi + \ddot{\theta} \int m \xi d\xi \\ & - (\ddot{x} \sin \theta + \ddot{z} \cos \theta + 2\dot{\theta} v_{ax}) \int m d\xi \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} M_{mn} = & (-\dot{x} \sin \theta - \dot{z} \cos \theta) \int \frac{dm}{dt} \xi d\xi + \dot{\theta} \int \frac{dm}{dt} \xi^2 d\xi \\ & + v_{ax} \int \frac{dm}{dt} \tan \alpha \xi d\xi + \ddot{\theta} \int m \xi^2 d\xi \\ & - (\ddot{x} \sin \theta + \ddot{z} \cos \theta + 2\dot{\theta} v_{ax}) \int m \xi d\xi \end{aligned} \quad (5)$$

で求められる。ここで、 $m$  は各断面の上下 (heave) 方向付加質量、 $\tan \alpha$  は船首底部の傾斜を表す。 $v_{ax}$  は艇の前進速度で

$$v_{ax} = \dot{x} \cos \theta - \dot{z} \sin \theta \quad (6)$$

である。

次に艇の前後方向 (axial direction) に作用する力の成分  $F_{ma}$  であるが、この評価には上下方向の力の成分の評価で用いたストリップ法的な考え方は適用できない。従って、艇全体に作用する力として  $F_{ma}$  を評価することにする。まず、艇長の 1/2 (船体の前半部分) が没水した際の付加質量が無限流体中の回転楕円体の付加質量の 1/2 に等しいと仮定する。次に、 $l$  を船首端から測った艇の長さ方向の没水量として、 $l$  が 1/2 艇長以下のときは船首端から  $l$  の位置の横断面積と船体中央の横断面積の比で付加質量を評価することにする。 $l$  が 1/2 艇長以上のときは一定値 (回転楕円体の付加質量の 1/2) とする。以上のようにして、前後 (surge) 方向の付加質量を  $l$  の関数  $m(l)$  として表すと、前後方向の力は

$$F_{ma} = m(l) \cdot \dot{v}_{ax} + \frac{dm(l)}{dl} \frac{dl}{dt} v_{ax} \quad (7)$$

によって評価することができる。ここで  $\dot{v}_{ax}$  は艇の前進方向の加速度を表す。

水中航走時に救命艇に作用する抗力成分は以下の式によって評価する。

$$F_{da} = \frac{1}{2} \rho c_{da} A_{cm} v_{ax} |v_{ax}| \quad (8)$$

$$F_{dn} = \frac{1}{2} \rho c_{dn} \int (2c_m) v_{nr} |v_{nr}| d\xi \quad (9)$$

$$M_{dn} = \frac{1}{2} \rho c_{dn} \int (2c_m) v_{nr} |v_{nr}| \xi d\xi \quad (10)$$

ただし、 $\rho$  は流体密度、 $c_{da}$  および  $c_{dn}$  はそれぞれ前後および上下方向の抗力係数、 $A_{cm}$  は船体中央の断面積、 $2c_m$  は各横断面の最大幅を表す。また、 $v_{ax}$  は(6)式に示した艇の前後速度成分、 $v_{nr}$  は艇の各位置における上下方向の速度成分で

$$v_{nr}(\xi) = -\dot{x} \sin \theta - \dot{z} \cos \theta + \xi \dot{\theta} \quad (11)$$

である。

着水後の救命艇の時々刻々の運動は(1)式右辺に現れる  $m\ddot{x}$ ,  $m\ddot{z}$  等の慣性項を運動方程式の左辺に移項して、時間積分法により数値計算する。本研究では運動方程式の時間積分には Newmark- $\beta$  法を用いた。

以上の方法によって、空間固定座標系に関する艇重心の加速度成分が計算できるので、艇とともに移動する座標系における艇内各位置の加速度（すなわち、模型実験の際に模型に搭載した加速度計で計測される加速度、ないしは乗員が受ける加速度）を次式により評価する。

$$a_{\xi}(\xi, \zeta) = \ddot{x} \cos \theta - (\ddot{z} + g) \sin \theta - \xi \dot{\theta}^2 + \xi \ddot{\theta} \quad (12)$$

$$a_{\zeta}(\xi, \zeta) = \ddot{x} \sin \theta + (\ddot{z} + g) \cos \theta + \xi \dot{\theta}^2 + \xi \ddot{\theta} \quad (13)$$

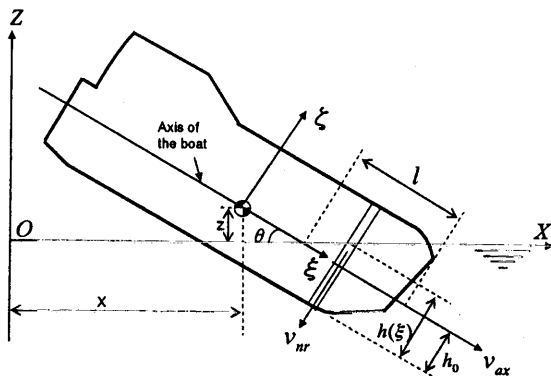


Fig.2 Water entry parameters of a free-fall lifeboat.

### 3. 模型実験結果と数値計算結果の比較

本研究では先ず、自由落下式救命艇の船型と着水性能の関係について検討する。性能改善のためのプロトタイプ (prototype) 船型としては、平成 16 年度に海上技術安全研究所において模型実験を実施した Free-fall 模型艇 (Fig.3) を採用する。実験では、落下高さ、スキッド角、滑降距離、載荷状態等を種々変えたシリーズ実験を行い、着水時の模型艇の運動および艇に生ずる加速度を計測した。

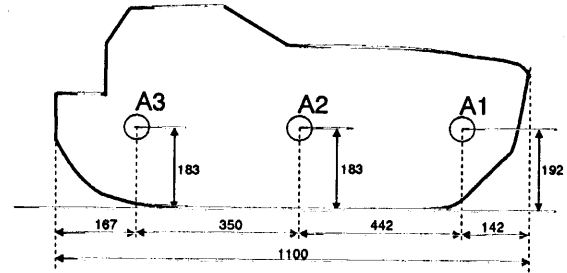
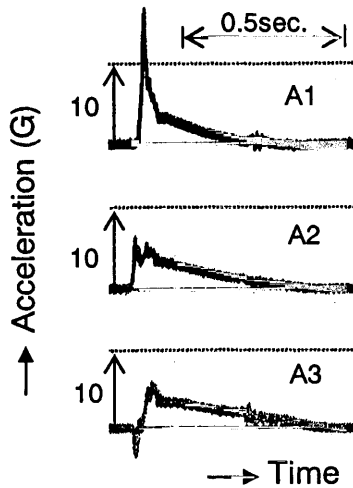


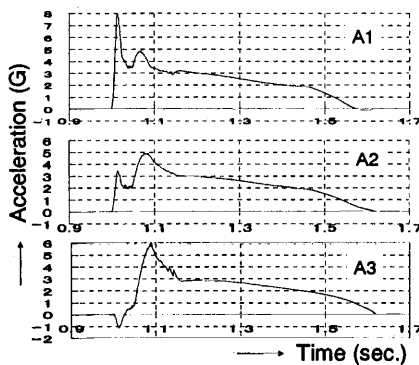
Fig.3 Lifeboat model and the position of accelerometers.

模型実験において計測された水面突入時の加速度時系列を数値シミュレーション結果と比較して Fig.4 に示す。同図は、船首(A1)、ミッドシップ(A2)、船尾(A3)に設置された加速度計の上向き加速度成分を示している。実験結果と数値計算結果の対応は良好であり、第 2 章に示した数値計算法の有効性が確認できる。なお、他の船型に対する加速度の数値計算と模型実験の比較は著者らの論文<sup>27)</sup>を参照いただきたい。Fig.4 の結果からは、本艇ではミッドシップ、船尾に比べ船首における加速度が大きいことが分かる。

次に、本艇の水面突入時の運動を Fig.5 に示す。本艇では着水時に船首に対し上向きに大きな衝撃力が作用し、艇には頭上げのモーメントが与えられる。この結果、救命艇は一旦水面上に飛び上がるように浮上して母船から離れる方向に大きな前進速度で慣性走航する。母船から離れる方向の速度をもつという点は自由落下式救命艇の運動として望ましいものであるが、Fig.4 に示されているように上向き加速度の絶対値が大きい点には改善の余地がある。また、浮上後に再び水面に突入する際に、船尾スラミングを起こす点も要注意である (Fig.4, Fig.5 参照)。



(a) Measured acceleration ( $a_g$ )



(b) Computed acceleration ( $a_g$ )

Fig.4 Comparison of the measured and computed acceleration in the normal direction ( $H=2.273L$ ,  $\Theta = 40^\circ$ ,  $L_{go'} = 0.648L$ ,  $L_{ra} = 0.1924L$ ,  $L=1.1m$ ; definitions of parameters are shown in Fig. 9).

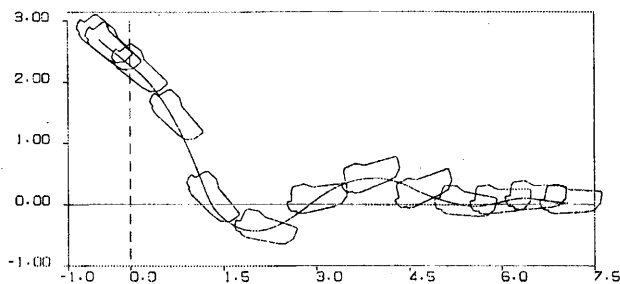


Fig.5 Computed water entry motion of the free-fall lifeboat ( $H=2.273L$ ,  $\Theta = 40^\circ$ ,  $L_{go'} = 0.648L$ ,  $L_{ra} = 0.1924L$ ).

#### 4. 船型改良による着水性能の改善

##### 4.1 船型の改良

3章に示したように、本艇には着水時に船首スラミングによる比較的大きな加速度が作用することが分かっ

たため、船型の改良によって船首に作用する衝撃力を下げを試みる。Fig.6 は、prototype 船型(以下 Type-1)と二つの改良船型 (Type-2 および Type-3)を示している。Type-2 は、deadrise angle の傾きを Type-1 よりも大きくし、またセンターラインに対するフレア部外板の傾き角を小さくするように船型を変更したもので、船底および船首フレアにおけるスラミングの影響低減を狙っている。また、Type-3 は、Type-2 で考慮した横断面内の船型変更に加え、前後方向の船型改良として船首部シアラインの傾斜角を変更したものである。ここで、本論文におけるシアラインとは、救命艇船体の下半分(ローワーハル)と上半分(アッパーハル)の接続部を意味しており、各横断面において最大幅となる箇所をつないだラインに一致している。船体中央付近では、このラインに沿って進水レールが設置されている。なお、FRP製救命艇においては、一般にローワーハル、アッパーハルを別々に製作し、両者を重ね合わせるにより船体を構成している。Type-1、Type-2 ではシアラインが船首に向かうに従って上方に大きく曲げられているため、船首前面が静水面に対し平手打ちに近い状態で突入し大きなスラミングが発生しやすい。そこで Type-3 では、船首のシアライン先端位置を下げて水面突入時における船首前面と静水面との相対的な角度を増加させることでスラミングを緩和するようにした。

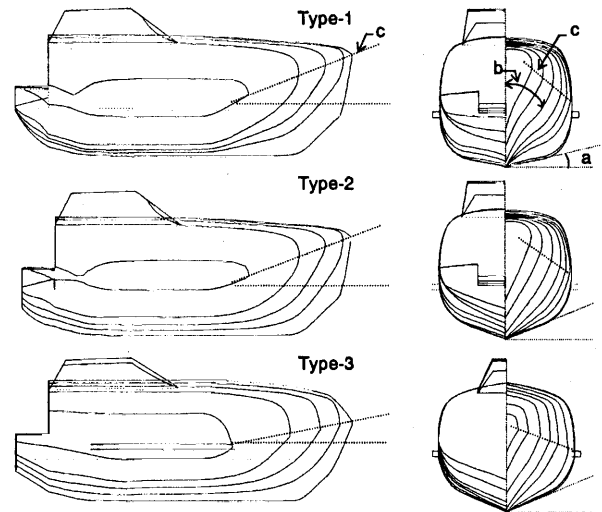


Fig.6 Comparison of three hull shapes.

(a: Deadrise angle, b: Flare angle, c: Sheer line)

##### 4.2 数値シミュレーション結果

以下、数値シミュレーションを行って3船型の着水時の性能を比較する。ただし、数値シミュレーションにおいては船型の相違のみ考慮し、船体重量、重心位置、慣動半径は3艇とも同一とした。Fig.7に、落下高さ2.273L、滑台傾斜角40°、滑台上滑降距離0.8L、ガイドレール

長さ  $0.1924L$  の場合の3艇の重心軌跡の計算値を比較して示す。図の横軸、縦軸は船長  $L$  で無次元表示されており、 $z=0$  は静水面位置を表す。また、 $x=0$  は滑台先端の水平方向位置に一致している。次に、船首 A1 における上向き加速度の比較を Fig.8 に示す。ただし、加速度の時間軸は  $L=1.1\text{m}$  模型に対するものである(以下同様)。Fig.7 および Fig.8 からは、Type-1 と Type-2 の運動および加速度性能にはほとんど相違がないことが分かる。一方、Type-3 では着水時の水面衝撃に基づく加速度が Type-1 に比べ大幅に小さくなること分かる。その結果、船首上げのモーメントが小さくなり Fig.7 に示されているように Type-3 の救命艇は水面下に深く潜ることになる。この潜行中に救命艇は減速し、最終的には浮力によって浮上するが、浮上後の前進速度は Type-1、Type-2 に比べて小さい。すなわち、Type-3 は再浮上後の救命艇に前進速度をもたせるという点では Type-1 に比べ若干性能が低下する。一方、着水時の衝撃加速度を下げる点では極めて有利な船型ということが出来る。IMO の救命艇試験に対する加速度推奨値  $a$  は人体の上下方向に対し  $7g$  以下となっており、Type-3 船型はその制限値を満足することができる。

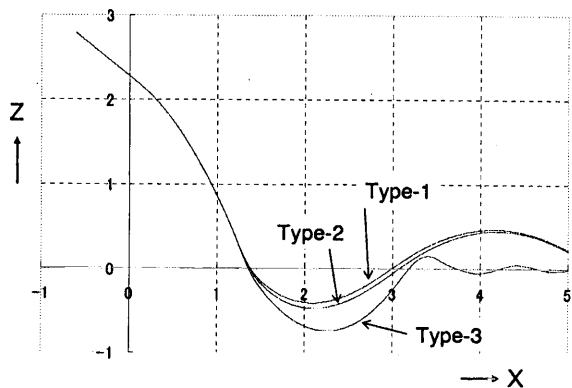


Fig.7 Comparison of the trajectories of the COGs of three lifeboats ( $H=2.273L$ ,  $\Theta = 40^\circ$ ,  $L_{go}'=0.8L$ ,  $L_{ra}=0.1924L$ ).

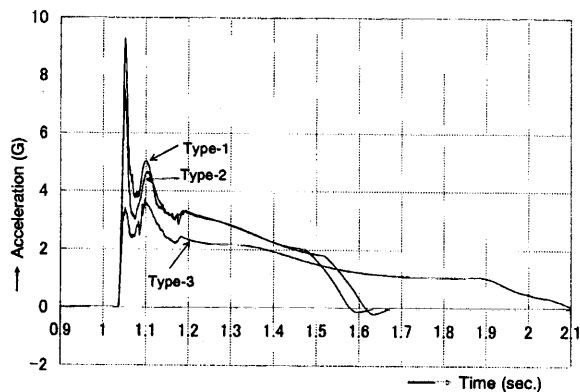


Fig.8 Comparison of the normal acceleration at the bow (A1) of the three lifeboats ( $H=2.273L$ ,  $\Theta = 40^\circ$ ,  $L_{go}'=0.8L$ ,  $L_{ra}=0.1924L$ ,  $L=1.1\text{m}$ ).

## 5. 進水条件の最適化

### 5.1 滑台からの進水条件

本研究では、Fig.9 に示す4つのパラメータ(落下高さ  $H$ 、滑台傾斜角  $\Theta$ 、滑台上の滑降距離  $L_{go}'$ 、進水レールの重心より後方の長さ  $L_{ra}$ )を進水条件と呼ぶ。ただし、落下高さ  $H$  は母船の積みつけ条件等により決まるため given の条件と考え、残りの3変数を最適化することを考える。

ここで、これらのパラメータと救命艇の着水性能との関係を簡単に説明する。まず、 $\Theta$  は滑台からの救命艇の発進角度を支配する。また、 $\Theta$  は水面に着水する際の艇の着水角 (Fig.1 の  $\theta_E$ ) を左右する重要なパラメータである。着水角が大きいほど救命艇は水中深く突入する傾向があり、一方  $\theta_E$  が小さいと腹打ち状態となって激しいスラミングを起こす。滑台の設計上は  $\Theta$  が大きすぎると乗員が艇に乗り込むことが困難になるので、実用上  $\Theta \leq 50^\circ$  程度にすべきと考えられる。次に  $L_{go}'$  であるが、このパラメータは滑台上の滑降速度に関係し、 $L_{go}'$  が大きいほど滑降速度が大きくなるため、滑台端部での拘束落下の持続時間が短くなる。この結果、拘束回転が少なくなる。拘束回転をできるだけ少なくすることによって、落下高さにかかわらず着水角  $\theta_E$  がほぼ一定となるので、 $L_{go}'$  を大きくすることによって有利な着水姿勢となるように落下運動を制御しやすいというメリットがある。 $L_{ra}$  も拘束回転運動の持続時間に関係する。 $L_{ra}$  が大きいと、艇の重心が滑台端を通過したあとに進水レールが滑台端と長く接触し続けるため、拘束回転運動が大きくなる。一般に上述の  $L_{go}'$  をあまり大きくすると滑台システムが大型化して望ましくないと考えられる。一方、 $L_{ra}$  は比較的簡単に調整でき他の設計条件とも干渉しないため、拘束回転を抑制する手段として  $L_{ra}$  の長さを短くするという方法が有効である。ただし、 $L_{ra}$  が負になると艇は滑台上で姿勢を保てないため、救命艇の様々な積みつけ状態に対し常に  $L_{ra} > 0$  となるように設計する必要がある。

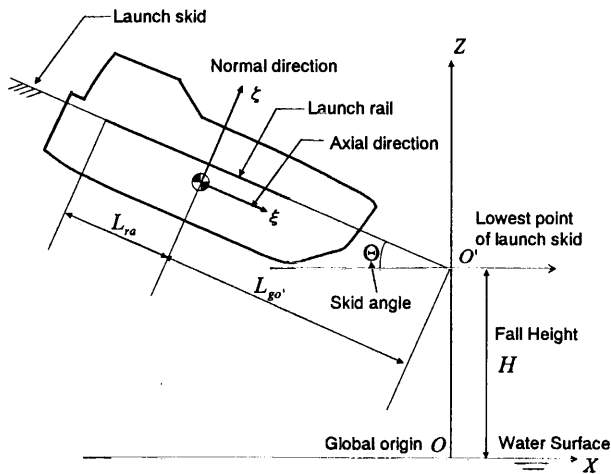


Fig.9 Launching parameters.

5.2 遺伝的アルゴリズムを用いた進水条件の最適化

自由落下式救命艇システムでは船型だけでなく上述の滑台からの進水条件も、着水後の艇の運動性能や着水時の衝撃加速度に大きな影響がある<sup>5),6),7)</sup>。本章ではシステムの最適化手法としてさまざまな分野で用いられている遺伝的アルゴリズムを用いて、5.1節で述べた3つの進水パラメータ ( $\Theta$ ,  $L_{go'}$ ,  $L_{ra}$ ) の最適化を行う。ただし、本節の検討における救命艇の船型としては Fig.6 の Type-3 を用いる。なお、本論文では満載状態のみを取り扱うこととする。また、救命艇の重心位置は艇の船尾端から  $0.4424L$ (固定) とする。

最適化を行う際には、自由落下式救命艇システムの以下の3つの性能 (P1, P2 and P3) を考慮することとする。

P1: 着水時の艇に作用する加速度  $a_{max}$  が小さいこと。

ただし本研究では、

$$a_{max} = \sum_{i=1}^3 |a_i|$$

とする。ここで  $a_1, a_2, a_3$  はそれぞれ船首、ミッドシップ、船尾の上下方向加速度の最大値とする。

P2: 再浮上時の救命艇重心の水面上最大浮上高さ  $z_{max}$  が小さいこと。

P3:  $T_0$  秒後における母船と救命艇重心の水平距離  $x_{T_0}$  が大きいこと。

以上を考慮して、本研究では目的関数を次のように与え、その最大化問題を解くこととする。

$$F = \frac{1}{B_1 + a_{max}} + \frac{1}{B_2 + z_{max}} + \frac{x_{T_0}}{B_3} \quad (14)$$

ここで、 $B_1, B_2, B_3$  は定数であり、試行錯誤により適当

な値を定める。

なお、拘束条件としてさらに次の3条件を課す。

C1: 浮上後に正の前進速度をもつ。

C2: 滑降距離に上限、下限を設ける (すなわち  $0.5L \leq L_{go'} \leq 1.0L$ ) 。

C3: 重心より後方の進水レール長さは正とする (すなわち  $L_{ra} > 0$ ) 。

拘束条件 C1~C3 のもとで、遺伝的アルゴリズムを用いて式 (14) の F を最大化する組み合わせを求める。3通りの落下高さに対する計算結果を Table1 に示す。表より分かるように  $\Theta$  の最適値は約  $40^\circ$  となった。また、 $L_{go'}$  は拘束条件 C2 の最大値  $1.0L$  に一致した。 $L_{ra}$  については、どの落下高さについても  $0.2L$  程度となった。以上の設計パラメータの組み合わせに対する救命艇重心の運動軌跡と船首加速度の計算値を Fig.10 および Fig.11 に示す。落下高さが大きい場合には、着水後に救命艇が深く潜行することが分かる。また、着水時に発生する加速度の最大値は落下高さにはほぼ比例して増加する。

Table 1 Optimum launching conditions.

H	$\Theta$	$L_{go'}$	$L_{ra}$
2.27L	39.4	1.00L	0.21L
3.03L	39.2	1.00L	0.21L
3.78L	39.3	1.00L	0.21L

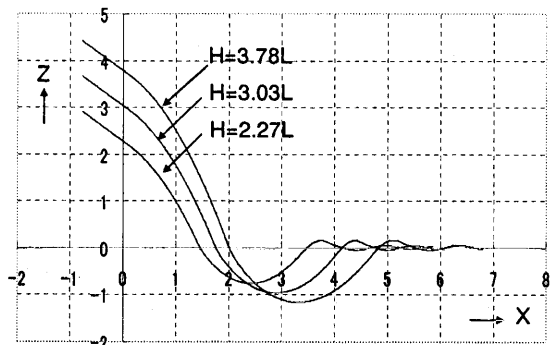


Fig.10 Computed trajectories for the conditions shown in Table 1.

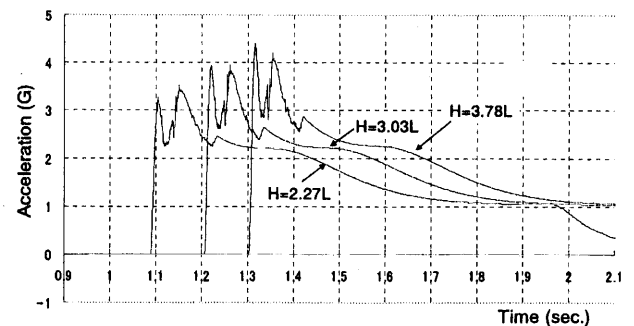


Fig.11 Computed accelerations for the conditions shown in Table 1.

次に、滑台傾斜角 $\Theta$ を $30^\circ$ に固定した場合の最適パラメータを Table2 に示す。また、それらのパラメータの組み合わせに対する救命艇重心の運動軌跡と船首加速度の計算値を Fig.12 および Fig.13 に示す。滑台傾斜角を $30^\circ$ に固定したため、Table1 の組み合わせを用いた場合 (Fig.11) に比べ、船首加速度は大きくなる。

Table 2 Optimum launching conditions for  $\Theta = 30^\circ$ .

H	$\Theta$	$L_{go}$	$L_{ra}$
2.27L	30.0	1.00L	0.21L
3.03L	30.0	1.00L	0.21L
3.78L	30.0	0.91L	0.20L

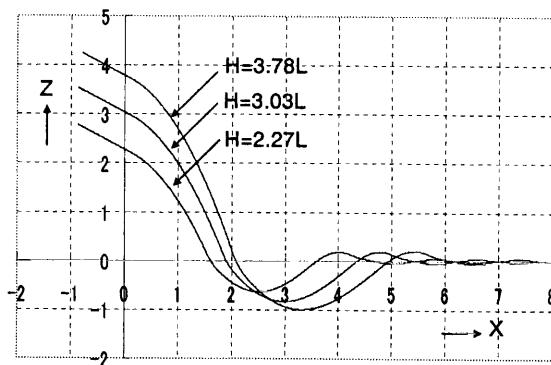


Fig.12 Computed trajectories for the conditions shown in Table 2.

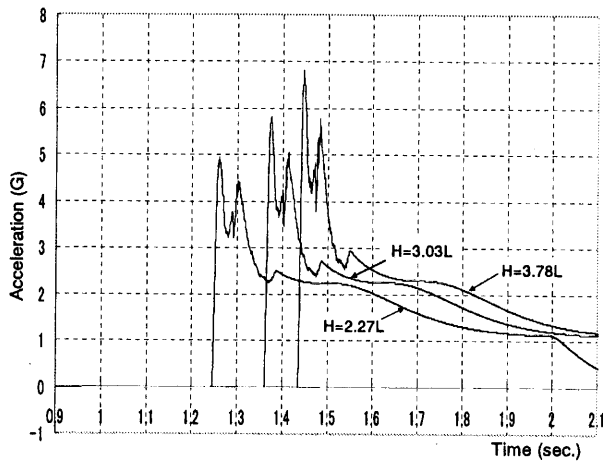


Fig.13 Computed accelerations for the conditions shown in Table 2.

最後に、経済性等の理由により滑降距離を短くして滑台寸法を小型化する場合について考えてみる。滑降距離 $L_{go}$ を短くして $0.8L$ に固定した場合の最適パラメータ計算結果を Table 3 に示す。また、そのときの運動軌跡と船首加速度を Fig.14 および Fig.15 に示す。この場合も着水時に発生する衝撃加速度は Fig.11 の結果に比べ若干増加する。

Table 3 Optimum launching conditions for  $L_{go}=0.8L$ .

H	$\Theta$	$L_{go}$	$L_{ra}$
2.27L	38.5	0.80L	0.19L
3.03L	38.0	0.80L	0.19L
3.78L	38.7	0.80L	0.19L

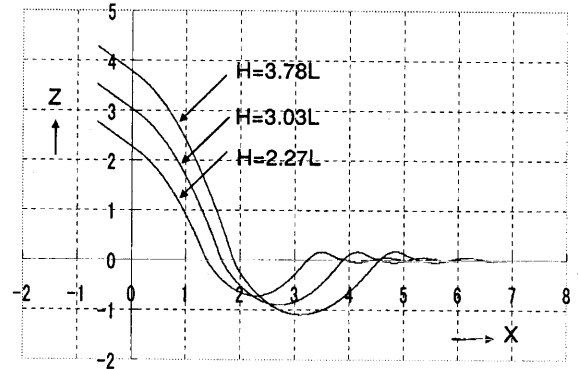


Fig.14 Computed trajectories for the conditions shown in Table 3.

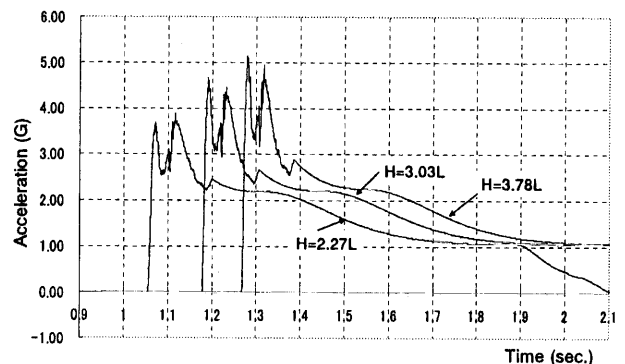


Fig.15 Computed accelerations for the conditions shown in Table 3.

## 6. 結言

本研究では、自由落下式救命艇の着水時の性能（運動および衝撃加速度）に対し、救命艇の船型がどのように影響するかを調べた。その結果、船首船底の形状と船首部シアラインを工夫することで、着水時に発生する衝撃加速度を抑えることができることを示した。また、遺伝的アルゴリズムに基づく最適化法を用いて、着水運動および衝撃加速度の観点から進水システムの設計パラメータを最適化した。本論文に示した着水挙動数値シミュレーション法および設計パラメータ最適化法は自由落下式救命艇システムを設計する上で極めて有効と考えられる。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、(株)ニシエフ代表取締役堀井淳氏には自由落下式救命艇の設計条件等に関する有益なご意見を頂きました。また、(独)海上技術安全研究所には模型実験データを提供して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 田崎亮、小川陽弘、月野良久、自由落下式救命艇の落下運動の数値シミュレーションとその応用(第1報)、日本造船学会論文集、第167号、pp.147-158 (1990).
  - 2) Arai, M., Khondoker, M.R.H. & Inoue, Y.: Water Entry Simulation of Free-fall Lifeboat (1st Report : Analysis of Motion and Acceleration), Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol.178, pp.193-201 (1995).
  - 3) Arai, M., Khondoker, M.R.H. & Inoue, Y.: Water Entry Simulation of Free-fall Lifeboat (2nd Report : Effects of Acceleration on the Occupants), Journal of The Society of Naval Architects of Japan, Vol.179, pp.205-211 (1996).
  - 4) Arai, M., Khondoker, M.R.H. & Inoue, Y. 1996. Prediction of the Performance of Free-fall Lifeboat Launching from Skid, The 15th Int. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE'96 /1-A, 249-258.
  - 5) 荒井誠, Khondoker, M.R.H.: 自由落下式救命艇の着水後の運動様式と安全性について, 日本造船学会論文集, 第181号, pp.181-189 (1997).
  - 6) Arai, M. 1998. Motions of a Free-fall Lifeboat During Water Entry, The 17th Int. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE'98.
  - 7) 荒井誠、上村伸一、原野勝博、橋爪 豊: 自由落下式救命艇の着水後の挙動に対する船型及び落下初期条件の影響、日本造船学会論文集、第185号、pp.101-110 (1999).
  - 8) International Maritime Organization, Evaluation of Free-fall Lifeboat Launch Performance, LSR 24/6/2 (1992).
-